

-1- (JAPIO)
 AN - 87-120477
 TI - FILM FORMING DEVICE
 PA - (2000100) CANON INC
 IN - DEN, TORU; SUGATA, MASAO; KURIHARA, NORIKO; SUGATA,
 HIROYUKI; ANDO, KENJI; KAMIYA, OSAMU
 PN - 87.06.01 J62120477, JP 62-120477
 AP - 85.11.19 85JP-257845, 60-257845
 SO - 87.11.14 SECT. C, SECTION NO. 456; VOL. 11, NO. 349,
 PG. 70.
 IC - C23C-016/50
 JC - 12.6 (METALS--Surface Treatment)
 FKW - R004 (PLASMA)
 AB - PURPOSE: To control the region and form of plasma and
 to obtain a good film forming condition by impressing
 a voltage to a nozzle disposed in a film forming gas
 flow passage and forming an electric field between
 the nozzle and a plasma generator by the microwaves
 on the upper stream side thereof.
 CONSTITUTION: This film forming device is constituted
 by connecting a plasma chamber 4 disposed with the
 plasma generator 2 provided with a cavity resonator 6
 having a waveguide 8 and microwave introducing window
 7 and having an opening 9 and a film forming chamber
 5 disposed with a substrate 12 by the nozzle 1 of a
 reducing and expanding type. A non-film forming gas
 is supplied into the cavity resonator 6 of the

above-mentioned device and at the same time the
 microwaves are introduced therein to generate the
 plasma which is delivered from the opening 9. The
 plasma is supplied together with the film forming gas
 from a supply ring 10 via the nozzle 1 into the film
 forming chamber 5. The voltage is at the same time
 impressed from a power source 3 to the
 above-mentioned nozzle 1 to form the electric field
 between the plasma generator 2 on the upper stream
 side thereof and the nozzle 1. The plasma is thereby
 effectively converged and the good film formation is
 executed.

118/723

118/723

2120477
JUN 1987



1110

SCIENTIFIC LIBRARY TRANSLATION DIVISION

See attached translation

87-189858/27	M13	CANO 19.11.85	M(13-E7)
CANON KK		*J6 2120-477-A	
19.11.85-JP-257845 (01.06.87) C23c-16/50			
Chemical vapour deposition appls. - with reaction gas accelerating nozzle and bore between plasma and film deposition chamber C87-079356			
Nozzle, having a reduced and expanded bore, is between the plasma chamber and the film deposition chamber. The plasma originates in the plasma chamber, and is drawn out towards the nozzle inlet port by the electric field formed in the space between the plasma originator and the nozzle. The nozzle is applied to the electrical potential of alternative current or direct current.			
USE - By this invention, the originated plasma domain and its shape are controlled arbitrary by the impressed potential, so the introduced reaction gas is uniformly and efficiently contacted to the plasma, resulting in superior quality deposition. (5pp Dwg.No.0/3)			

© 1987 DERWENT PUBLICATIONS LTD.
128, Theobalds Road, London WC1X 8RP, England
US Office: Derwent Inc. Suite 500, 6845 Elm St. McLean, VA 22101
Unauthorized copying of this abstract not permitted.

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A)

昭62-120477

⑫ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和62年(1987)6月1日

C 23 C 16/50

6554-4K

審査請求 未請求 発明の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 成膜装置

⑮ 特 願 昭60-257845

⑯ 出 願 昭60(1985)11月19日

⑰ 発 明 者	田 透	東京都太田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
⑱ 発 明 者	菅 田 正 夫	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
⑲ 発 明 者	栗 原 紀 子	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
⑳ 発 明 者	菅 田 裕 之	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
㉑ 発 明 者	安 藤 謙 二	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
㉒ 発 明 者	神 谷 攻	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社内
㉓ 出 願 人	キヤノン株式会社	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	
㉔ 代 理 人	弁理士 豊田 善雄		

明 細 書

1. 発明の名称

成膜装置

2. 特許請求の範囲

1) 従路に設けられた電圧印加可能なノズルの上従側に、ノズルとの間に電場を形成する、マイクロ波によるプラズマ発生装置を有することを特徴とする成膜装置。

2. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、マイクロ波放電によるプラズマを利用した成膜装置に関するもので、更に詳しくは、プラズマ及び成膜ガスの利用効率の向上に関する。

〔従来の技術〕

従来、マイクロ波放電によるプラズマを利用した成膜装置としては、空明共振器を利用したプラ

マに接触させて成体上に成膜を行うようにしたものが知られている。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかしながら、電磁石による送り出しでは、送り出されるプラズマ領域を十分コントロールしにくく、成膜ガスの接触にもむらを生じやすい問題がある。また、引き出されるプラズマの形態、例えばイオンやラジカルの偏極、種類等を制御することも困難で、成膜ガスの種類に応じたプラズマのコントロールも困難である。

〔問題点を解決するための手段〕

上記問題点を解決するために本発明において導かれた手段を、本発明の一実施例に対応する第1図で説明すると、従路に設けられた電圧印加可能なノズル1の上従側に、ノズル1との間に電場を形成する、マイクロ波によるプラズマ発生装置2を有する成膜装置とすることである。

〔作 用〕

1間に形成された電場によって、ノズル1方向へと引き出される。そして、ノズル1という限定された方向に向かってプラズマが引き出されるのである。その引き出しの速さを極めて容易にコントロールすることができる。又、プラズマ発生装置2との接触も図りやすく、図1で電極の間の接触が可能となる。

一方、ノズル1に印加する電圧を、電極3を直交として正又は負電圧としたり、電極3を交差として正・負交互に印加できるようにすることによって、プラズマの形態を制御することが可能である。また、プラズマ発生装置2とノズル1の間で放電を生じさせることによって、プラズマの形成を促すこともできる。

〔実施例〕

第1図に示されるように、プラズマ室4と成膜室5がノズル1を介して連通されている。

プラズマ室4内には、ノズル1の流入口1aと向する位置に、プラズマ発生装置2が設けられている。本実施例におけるプラズマ発生装置2

は、電子マイクロトロノバ電(ETCR)を使ってプラズマを形成する空間共振器6を有するものとなっている。この空間共振器6は、プラズマを効率的に形成できるように、ETCR条件を成すものであることが好ましい。

空間共振器6の内壁部には、例えば石英等のマイクロ波の透過を許容する材料で形成されたマイクロ波導入窓7を介して導波管8が接続されている。また、空間共振器6内には、非成膜ガスが供給されるようになっている。ここで非成膜ガスとは、マイクロ波放電によってプラズマ化されるガスであって、それ自身のみでは成膜能を生じないガスをいう。具体的には、例えばH₂, He, Ar等のガスである。

空間共振器6内に非成膜ガスを供給すると共に、マイクロ波導入窓7を介してマイクロ波を導入すると、空間共振器6内にプラズマが形成され、これが前面の開口9から引き出されることになる。

空間共振器6の開口9とノズル1の流入口1a間

は、成膜ガスを供給するための供給窓10が位置している。供給窓10は、多数の小孔を有する円状パイプで、成膜ガスを、空間共振器5から引き出されたプラズマに向かって供給するものである。ここで成膜ガスとは、活性化されることによって成膜を生じるガスのことで、例えばジシランガスである。

ノズル1は、その流入口1aをプラズマ室4内に口させ、従出口1bを成膜室5内に開口させて図4, 5を連通させている。このノズル1には電3が接続されていて、ノズル1とプラズマ発生装置2間に電場を形成できるようになっている。また、ノズル1のプラズマ発生室4並びに成膜室5への収付部分には、各々絶縁材11が介在してお

電気の絶縁が図られている。一方、プラズマ室及び成膜室5は各々アースされているものである。図示される電極3は、直交で、その正電をノズル1へ印加できるようにしているが、

プラズマ発生装置2で形成されたプラズマは、上記ノズル1とプラズマ発生装置2間の電場によって極率的にノズル1方向へと引き出され、これに供給窓10から成膜ガスが供給される。そして、供給された成膜ガスは、プラズマと接触して活性化されると共に、ノズル1を介して成膜室5内へと噴出されることになる。

ノズル1としては、平行ノズルや先端ノズルでもよいが、第2図に拡大して示してあるように、縮小拡大ノズルであることが好ましい。この縮小拡大ノズルとは、流入口1aから徐々に開口面積が狭られてのど部1cとなり、再び開口面積が拡大して従出口1bとなっているものをいう。

縮小拡大ノズルは、プラズマ室4の圧力P₀と成膜室5の圧力Pの圧力比P/P₀と、のど部1cの開口面積A'と従出口1bの開口面積Aとの比A'/A'を調節することによって、活性化されて噴出する成膜ガスの流れを高速度化できる。そして、プラズマ室

の流れとなり、成膜ガスは高速噴出される。また、上記圧力比が臨界圧力比以下であれば、縮小拡大ノズルの出口流速は超音速となり、成膜ガスを超音速にて噴出させることができる。

ここで、流れの速度を u 、その点における音速を a 、流れの比熱比を γ とし、流れを圧縮性の一次元流で断熱膨張すると仮定すれば、流れの流速マッハ数 M は、プラズマ室4の圧力 P_0 と成膜室5の圧力 P とから次式で定まり、特に P/P_0 が臨界圧力比以下の場合、 M は1以上となる。

$$M = \frac{u}{a} = \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{2}{\gamma-1} \quad \dots (1)$$

尚、音速 a は局所温度を T 、気体定数を R とすると、次式で求めることができる。

$$a = \sqrt{\gamma R T}$$

また、従出口1bの開口径 A 及びのど部1cの開口径 A^* とマッハ数 M には次の関係がある。

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left[\frac{2}{\gamma+1} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \dots (2)$$

よって、マッハ数 M の圧力 P_0 と成膜室5の圧力 P の圧力比 P/P_0 によって(1)式から定まるマッハ数 M に応じて開口径比 A/A^* を定めたり、 A/A^* によって(2)式から定まる M に応じて P/P_0 を調整することによって、縮小拡大ノズルから噴出する成膜ガスを適正膨張流として噴出させることができる。このときの流れの速度 u は、次の(3)式によって求めることができる。

$$u = M \sqrt{\gamma R T} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (3)$$

上述のような超音速の適正膨張流として成膜ガスを一定方向へ噴出させると、成膜ガスは噴出直後の噴出断面をほぼ保ちながら直進し、ビーム化される。これによって成膜ガスは、最小限の拡散で成膜室5内の空間中を、成膜室5の壁面との干渉のない空間的に孤立状態で、かつ超音速で噴出されることになる。

ノズル1として縮小拡大ノズルを用いる場合、第2図(a)に示されるように、従出口1b位置で内周面が中心軸に対してほぼ平行になっていることが好ましい。これは、噴出される成膜ガスの流れ方向が、従出口1b内周面の方向によって影響を受けるので、できるだけ平行流にさせやすくするためである。しかし、第2図(b)に示されるように、のど部1cから従出口1bへ至る内周面の中心軸に対する角度 α を、 7° 以下好ましくは 5° 以下とすれば、羽流現象を生じにくく、噴出する成膜ガスの流れはほぼ均一に維持されるので、この場合はことさらに上記のように平行にしない。むしろよい。平行流の形成を容易することにより、縮小拡大ノズルの作製が容易となる。また、縮小拡大ノズルを第2図(c)に示されるような断面のものとするれば、スリット状に成膜ガスを噴出させることができる。

ここで、前記羽流現象とは縮小拡大ノズルの内

が不均一になる現象をいい、噴出流が高速になるほど生じやすい。前述の角度 α は、この羽流現象防止のために、縮小拡大ノズルの内面化上げ精度が劣るものほど小さくすることが好ましい。縮小拡大ノズルの内面は、JIS B 0601に定められる、表面化上げ精度を表わす逆三角形マークで三つ以上、最もには四つ以上が好ましい。特に、縮小拡大ノズルの拡大部における羽流現象が、その後の成膜ガスの流れに大きく影響するので、上記化上げ精度を、この拡大部を重点にして定めることによって、縮小拡大ノズルの作製を容易にできる。また、やはり羽流現象の発生防止のため、のど部1には前記の内周面とし、断面形状変化部における変位数が0とならないようにする必要がある。

縮小拡大ノズルの材質としては、例えば鉄、ステンレススチールその他の金属の他、アクリル樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレン等の合成樹脂、セラミック材料、炭素、カーボン等を用いることができる。

加工性、真空系内におけるガス放出性の点で好適して行えばよい。また、縮小拡大ノズルの内面に、活性成膜ガスの付着、反応を生じにくく、材料をノズル又はコートすることもできる。具体例としては、ポリフッ化エチレンのコートを施すことができる。

縮小拡大ノズル1の長さは、装置の大きさ等によって任意に定めることができる。ところで、縮小拡大ノズル1を通過するときに、キャリアガス、成膜粒子は、保持する熱エネルギーが運動エネルギーに変換される。そして、特に超音速で噴出される場合、熱エネルギーは著しく小さくなる。このような低圧状態とすることもできる。このような低圧状態を利用して、活性化した成膜ガスのエネルギーを固定化して噴出させることも可能である。成膜室5内には、ノズル1の噴出口1bと相対向する位置に基体12が設けられている。従って、ノズル1から噴出する活性化した成膜ガスはこの基体12に衝突し、基体12上に成膜される。また、成膜室5は、例えば真空ポンプ等で排気されており、

余剰ガスや反応ガス等は直に排出される。

ところで、ノズル1を縮小拡大ノズルとし、プラズマ室4の圧力 P_0 と成膜室5の圧力 P の圧力比 P/P_0 と、のど部1cの開口面積 A と噴出口1bの開口面積との比 A/A_0 との関係を適宜に調整すれば、ノズル1から噴出される成膜ガスはビームとなって基体12へ衝突する。従って、成膜室5内への成膜ガスの飛散を防止しやすく、成膜室5内面への成膜付着による成膜ガスの無駄を防止できる。

プラズマ発生装置2としては、第3図(a)に示されるように、導波管8にマイクロ波導入窓7を介してスロットアンテナ13を設け、このスロットアンテナ13をプラズマ室4内に突出させたものとしてもよい。また、(b)に示されるように、上記スロットアンテナ13に代えてホーンアンテナ14を設けることもできる。

また、本実施例においては、成膜ガスを供給源10を介してノズル1の直前で供給しているが、成膜ガスはノズル1内又はノズル1の直後に供給してプラズマと接触させることもできる。特に縮小

拡大ノズル内に成膜ガスを供給する場合、流れを乱さないよう、供給位置はのど部1cと噴出口1b間加速領域とすることが好ましい。

発明の効果

本発明によれば、プラズマ発生装置から引き出されるプラズマの領域並びにその形態を制御でき、成膜に適した状態のプラズマに成膜ガスを接触させることができ、良好な成膜状態が得られるものである。

図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例を示す説明図、第2図(a)~(c)は各々縮小拡大ノズルの形状例を示す、第3図(a)、(b)は各々他のプラズマ発生装置を示す図である。

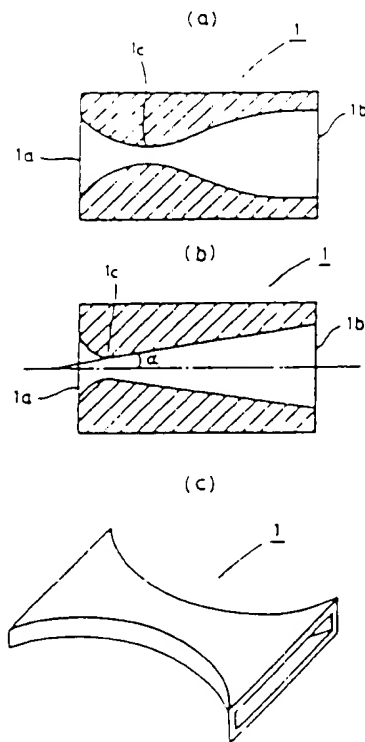
1: ノズル、1a: 噴入口、1b: 噴出口、2: のど部、3: プラズマ発生装置、4: プラズマ室、5: 成膜室、6: 真空排気装置、7: マイクロ波導入窓、8: 導波管、9: 電圧変換器、10: ガス供給源、11: 電圧変換器、12: 基体、13: スロットアンテナ、14: ホーンアンテナ。

13: スロットアンテナ。

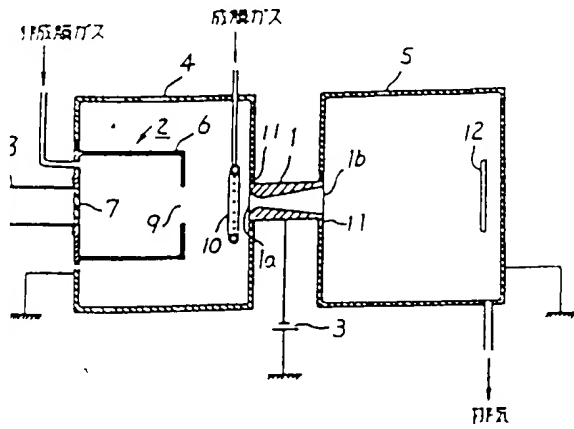
14: ホーンアンテナ。

出願人 エヤノン株式会社
代理人 豊田 吾郎

第2図

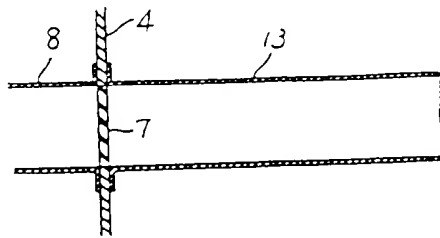


第1図

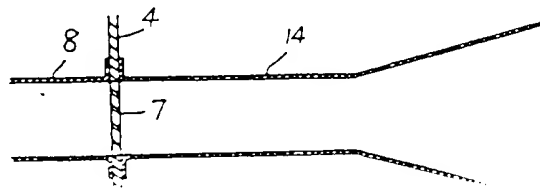


第3図

(a)



(b)



PTO 89-1110

Japanese Kokai Patent No.
Sho 62[1987]-120477

FILM-FORMING DEVICE
Tohru Den et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
WASHINGTON, D.C. FEBRUARY 1989

Code: PTO 89-1110

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT JOURNAL

KOKAI PATENT NO. SHO 62[1987]-120477

Int. Cl. ⁴ :	C 23 C 16/50
Sequence Nos. for Office Use:	6554-4K
Application No.:	Sho 60[1985]-257845
Application Date:	November 19, 1985
Publication Date:	June 1, 1987
No. of Inventions:	1 (Total of 5 pages)
Examination Request:	Not requested

FILM-FORMING DEVICE

[Seimaku sochi]

Inventors:	Tohru Den et al.
Applicant:	Canon K.K.

[There are no amendments to this patent.]

Claims

A film-forming device characterized by the fact that a device which forms plasma by microwaves which is used to form an electrical field between a nozzle is arranged at the upper flow

Code: PTO 89-1110

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT JOURNAL

KOKAI PATENT NO. SHO 62[1987]-120477

Int. Cl. ⁴ :	C 23 C 16/50
Sequence Nos. for Office Use:	6554-4K
Application No.:	Sho 60[1985]-257845
Application Date:	November 19, 1985
Publication Date:	June 1, 1987
No. of Inventions:	1 (Total of 5 pages)
Examination Request:	Not requested

FILM-FORMING DEVICE

[Seimaku sochi]

Inventors:	Tohru Den et al.
Applicant:	Canon K.K.

[There are no amendments to this patent.]

Claims

A film-forming device characterized by the fact that a device which forms plasma by microwaves which is used to form an electrical field between a nozzle is arranged at the upper flow

side of a potential applicable nozzle installed at a flow passage.

Detailed explanation of the invention

Industrial application field

This invention pertains to a film-forming device which utilizes plasma formed by discharged microwaves; in further detail, this invention pertains to the improved utilization of the plasma and film-forming gas.

Conventional technologies

According to a conventional film-forming device which utilizes plasma formed by discharged microwaves, a device which sends plasma formed by a plasma-forming device utilizing a hollow resonator to a film-forming chamber using an electromagnet, then contacts a film-forming gas with said plasma to form a film on a substrate in said chamber, is known.

Problems to be solved by the invention

However, according to the above-explained method of sending plasma with the electromagnet, it is difficult to sufficiently control the plasma domain which is sent out, and presents problems such as uneven contact being made with the film-forming gas. It is difficult to control the plasma format, for example, the density or type of ion or radical; control over the plasma according to the type of film-forming gas is also difficult.

Means to solve the problems

When a measure which may be used by this invention to solve the above-explained problems is explained in reference to Figure 1 showing one application example of this invention, it pertains to a film-forming device having plasma-generating device (2) which forms plasma by microwaves and forms an electrical field between nozzle (1) at the upper flow side of potential applicable nozzle (1) arranged at the flow passage.

Action

The plasma formed by plasma generator (2) is drawn in the nozzle (1) direction by the electrical field formed between nozzle (1) which is installed at the lower flow side and said plasma generator (2). Because plasma is drawn in a limited direction such as toward the nozzle, it is easy to control the domain of said drawing. As a result, contact of the plasma and film-forming gas may also be easily achieved to enable a uniform contact with no waste.

On the one hand, by designing the voltage applied to nozzle (1) to be either positive or negative with DC power supply (3), or to alternately apply positive and negative voltage with AC power supply (3), it is possible to control the format of said plasma. It is also possible to accelerate said plasma formation by initiating a discharge between plasma-forming device (2) and nozzle (1).

Application examples

As shown in Figure 1, plasma chamber (4) and film-forming chamber (5) are connected via nozzle (1).

Within said plasma chamber, plasma-forming device (2) is arranged at the opposite position to flow inlet (1a) of nozzle (1). Plasma-forming device (2) used in this application example is a device equipped with hollow resonator (6) which forms plasma using an electrocyclotron resonance (ECR). Hollow resonator (6) is preferable providing that it meets the ECR conditions so it can provide efficient plasma formation.

At the back wall part of hollow resonator (6), for example, wave guide (8) is connected via microwave guide window (7) made of material, such as quartz, which allows transmission of microwaves. It is designed so that a non film-forming gas is supplied to hollow resonator (6). The non-film-forming gas referred to at this time is the gas which is converted to plasma by microwave discharge and refers to the gas which shows no film-forming capacity as is. More concretely, it refers to, for example, H_2 , N_2 , or Ar gas.

When said non-film-forming gas is supplied to hollow resonator (6) while microwaves are induced via microwave guide window (7), plasma may be formed in hollow resonator (6); this is drawn out of opening (9) arranged at the front panel.

Between opening (9) and flow inlet (1a) of nozzle (1) of hollow resonator (6), supply ring (10) which is used to supply the film-forming gas is arranged. Supply ring (10) is a ring-shaped pipe having many small holes; this is used to supply film-forming gas to the plasma which is drawn out of hollow resonator (5). The film-forming gas referred to at this time is

the gas which exhibits a film-forming capacity when activated; as such gas, for example, disilane gas may be mentioned.

Flow inlet (1a) of nozzle (1) opens to plasma chamber (4) and opens flow outlet (1b) to the film-forming chamber to connect both chambers (4) and (5). To this nozzle (1), power supply (3) is connected to form an electrical field between nozzle (1) and plasma-forming device (2). At each attachment region of plasma chamber (4) and film-forming chamber (5) of nozzle (1), insulating material (1) is installed for electrical insulation; on the other hand, plasma chamber (4) and film-forming chamber (5) are electrically grounded. Power supply (3) shown in the figure is of direct current; that positive voltage is applied to nozzle (1); however, it is also allowable to apply negative voltage to the nozzle, or power supply (3) may be of alternate current.

The plasma formed by plasma-forming device (2) is actively drawn toward the nozzle (1) direction by the electrical field created between above-explained nozzle (1) and plasma-forming device (2); a film-forming gas is supplied to this from supply ring (10). The film-forming gas supplied is activated when it comes in contact with plasma; at the same time, it is sprayed into film-forming chamber (5) via nozzle (1).

As for above-explained nozzle (1), although it may be of a parallel nozzle or a narrow-tip nozzle, as shown in Figure 2 with an enlarged view, it is preferable when it is of a nozzle having a reduced and enlarged bore. This nozzle having a reduced and enlarged bore is the nozzle designed to gradually reduce its aperture area from flow inlet (1a) to form neck region (1c), then its aperture area is again enlarged to form flow outlet (1b).

According to the above-explained nozzle having a reduced and enlarged bore, by adjusting pressure ratio P/P_0 of pressure P_0 of

plasma chamber (4) and pressure P of film-forming chamber (5), as well as ratio A/A' of open area A' of neck region (1c) and open area A of flow outlet (1b), it is possible to accelerate the flow rate of the film-forming gas which is activated and sprayed. When pressure ratio P/P_0 of plasma chamber (4) and film-forming chamber (5) is greater than the critical pressure ratio, the outlet flow speed of the nozzle having a reduced and enlarged bore becomes slower than subsonic speed, and the film-forming gas is sprayed at reduced speed.

At this time, when the flow speed is identified as u [sic; possibly μ], and the speed of sound at that point as a , specific heat ratio γ of the flow assumes that the flow has an adiabatic expansion with compressive one-dimensional flow and Mache M derived by the flow is determined by the following equation based on pressure P_0 of plasma chamber (4) and pressure P of film-forming chamber (5); in particular, when P/P_0 happens to be lower than the critical pressure, M becomes greater than 1:

$$M = \frac{u}{a} = \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{2}{\gamma-1} \quad \dots (1)$$

When the local temperature is identified as T and the gas constant as R , speed of sound a may be derived by the following equation:

$$a = \sqrt{\gamma R T}$$

The open area of flow outlet (1b), open area A' of neck region (1c), and Mache M have the following relationship:

$$\frac{A}{A'} = \frac{1}{M} \left[\frac{2}{\gamma-1} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \dots (2)$$

As a result, it is possible to spray the film-forming gas at an appropriate expansion flow from a nozzle having a reduced and enlarged bore when open area ratio A/A' is determined according to Mach M derived by equation (1) based on pressure ratio P/P_0 of pressure P_0 of plasma chamber (4) and pressure P of film-forming chamber (5); or by adjusting P/P_0 according to the M value determined by equation (2) based on A/A' . Flow speed u at this time may be derived from the following equation (3):

$$u = M \sqrt{\gamma R T} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (3)$$

When the film-forming gas is sprayed in the above-explained appropriately expanded flow at ultrasonic speed in a set direction, said film-forming gas would immediately proceed straight while maintaining its spray-flow sectional plane in almost the same shape as that at the starting time of the spraying, forming a beam shape. By doing so, the film-forming gas may be sprayed out at ultrasonic speed while in a spatially independent state in a space within film-forming chamber (5) without any interference from the wall surface of film-forming chamber (5).

When a nozzle having a reduced and enlarged bore is used as nozzle (1), as shown in Figure 2 (a), it is preferable when the inner circumferential surface is set to be almost parallel to the center axis at the flow outlet (1b) position. This is to aid in achieving a parallel flow as best as possible because the flow direction of the film-forming gas which is sprayed is easily affected by the direction of inner circumferential surface of flow outlet (1b). However, as shown in Figure 2 (b), when angle α (2) against the center axis of the inner circumferential surface from neck region (1c) to flow outlet (1b) is set at less

than 7° , or more preferably, less than 5° , it is difficult to initiate a peeling phenomenon, and because the film-forming gas flow which is sprayed is maintained in almost a uniform state, there is no particular need to set the flow parallel as explained above. When the forming of the parallel part explained above may be omitted, preparation of the nozzle having a reduced and enlarged bore becomes easy. When said nozzle having a reduced and enlarged bore is set as a rectangular shape as shown in Figure 2 (c), it is possible to spray the film-forming gas in a slit form.

As for the term "peeling phenomenon" referred to above, it indicates the phenomenon of nonuniform flow when protrusions and such are present within said nozzle having a reduced and enlarged bore forming a border layer between the inner surface of the nozzle having a reduced and enlarged bore and the flowing fluid; this phenomenon is more prominent when the fluid is sprayed at a higher speed. As for above-explained angle α (2), in order to prevent this peeling phenomenon, it is preferable when it is held at a smaller rate in the case of a less accurate inner surface finish of said nozzle having a reduced and enlarged bore. The inner surface of the nozzle having a reduced and enlarged bore is preferably higher than a 3 reverse-triangular-shaped marking, or more preferably, higher than 4 markings according to the surface finish accuracy specified by JIS B 0601. In particular, because the peeling phenomenon at the enlarged part of said nozzle having a reduced and enlarged bore significantly affects the film-forming gas flow afterwards, it is possible to achieve an easy preparation of said nozzle having a reduced and enlarged bore by focusing on this enlarged part. In order to prevent said peeling phenomenon, it is also necessary to provide a smooth curved surface of neck region (1c) so that the micro-coefficient

of the changes in the sectional area would not become infinite (∞).

As for the material for said nozzle having a reduced and enlarged bore, for example, besides iron, stainless steel, and other metals, synthetic resins such as acryl resin, polyvinyl chloride, polyethylene, polystyrene, or polypropylene, as well as ceramic material, quartz, or glass may be used. Selection of such material may be based on their non-reactivity with the active film-forming gas formed, the processability, and the gas-discharging properties in a vacuum system. It is possible to either plate or coat such material which does not easily allow adhesion or reaction with the active film-forming gas at the inner surface of said nozzle having a reduced and enlarged bore. As for its concrete example, coating with polyethylene fluoride may be mentioned.

The length of said partially reduced and enlarged nozzle (1) may be optionally determined according to the size of the device and such. The heat energy retained by the carrier gas and microfine particles are converted into kinetic energy when flowing through said nozzle having reduced and enlarged bore (1). In particular, when it is sprayed at ultrasonic speed, the heat energy becomes extremely small, and this may be held in a supercooled state. It is also possible to fix the energy of the activated film-forming gas to be sprayed utilizing the above-explained low-temperature state. In film-forming chamber (5), substrate (12) is arranged at the position opposite to flow outlet (1b) of nozzle (1). As a result, the activated film-forming gas which is sprayed from nozzle (1) collides against this substrate to form a film on said substrate (12). Said film-forming chamber (5) is exhausted by a vacuum pump and

such, and the excess gas or reaction gas is immediately exhausted.

When a nozzle having a reduced and expanded bore is used as nozzle (1) to adjust the relationship of pressure ratio P/P_0 of pressure P_0 of plasma chamber (4) and pressure P of film-forming chamber (5), as well as open area ratio A/A' of open area A' of neck region (1c) and open area A of flow outlet (1b) in an appropriate manner, the film-forming gas which is sprayed from nozzle (1) may be collided against substrate (12) in a beam form. As a result, it is easy to prevent from said film-forming gas scattering within film-forming chamber (5) to prevent any waste of the film-forming gas due to filmy adhesion to the inner surface of film-forming chamber (5).

As shown in Figure 3 (a), the plasma-forming device may be constructed of slot antenna (13) arranged at wave guide (8) via microwave guide window (7) to protrude slot antenna (13) into plasma chamber (4). As shown in Figure 3 (b), it is possible to arrange horn antenna (14) in the place of above-explained slot antenna (13).

According to this invention's application example, the film-forming gas is supplied via supply ring (10) immediately before nozzle (1); it is also possible to supply said film-forming gas either to nozzle (1) or immediately after nozzle (1) to allow contact with the plasma. In particular, when the film-forming gas is supplied to the nozzle having a reduced and expanded bore, it is preferable when said supplying position is located at an accelerating region between neck part (1c) and flow inlet (1a) so as not to disturb the flow.

Effect of this invention

According to this invention, because it is possible to control the domain and format of the plasma drawn out of the plasma-forming device, it is possible to contact the film-forming gas with plasma in a uniform state suitable to provide a good film-forming state.

Brief explanation of the figures

Figure 1 shows an explanatory view of one application example pertaining to this invention; Figures 2 (a) through (c) show format examples of nozzles having a reduced and expanded bore; Figures 3 (a) and (b) show other plasma-forming devices.

1: Nozzle, 1a: Flow outlet, 1b: Flow inlet, 1c: Neck region, 2: Plasma-forming device, 3: Power supply, 4: Plasma chamber, 5: Film-forming chamber, 6: Hollow resonator, 7: Microwave guide window, 8: Wave guide, 9: Opening, 10: Supply ring, 11: Insulating material, 12: Substrate, 13: Slot antenna, 14: Horn antenna

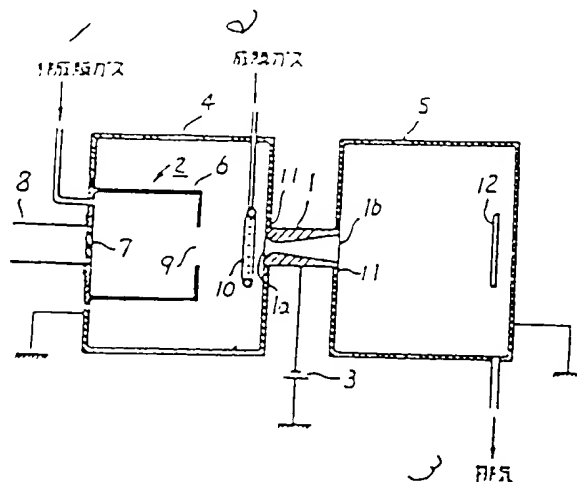


Figure 1.

Key: 1: Non film-forming gas
 2: Film-forming gas
 3: Exhaust

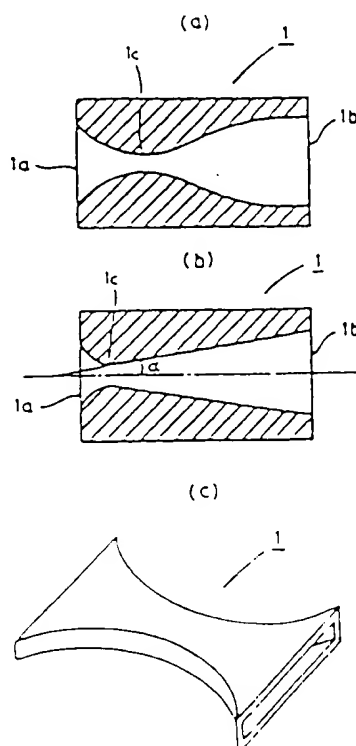


Figure 2.

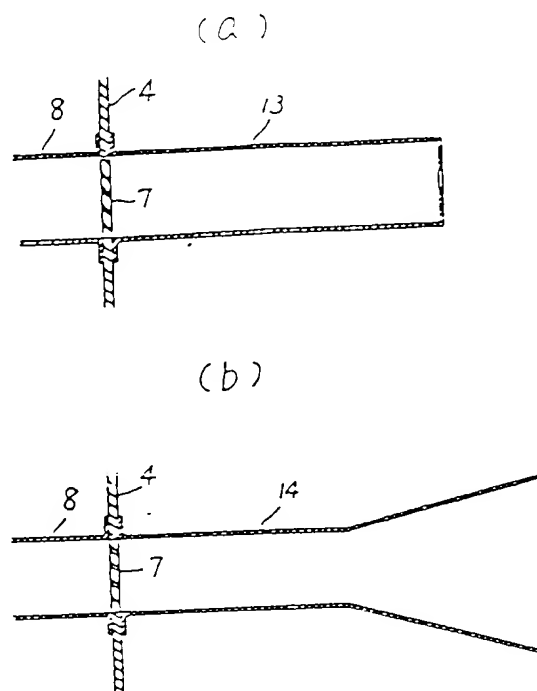


Figure 3.